

измерения в области высоких частот невозможно ввиду ограничения возможности прибора. Осциллирующее напряжение выбиралось исходя из того, что нелинейность в высших гармониках начинает проявляться при напряжениях от 1 В и в данной работе составляло $U = 3$ В. Измерения проводились в нематической и изотропной фазах ЖК, при температурах 25 °С и 80 °С (рис.2).

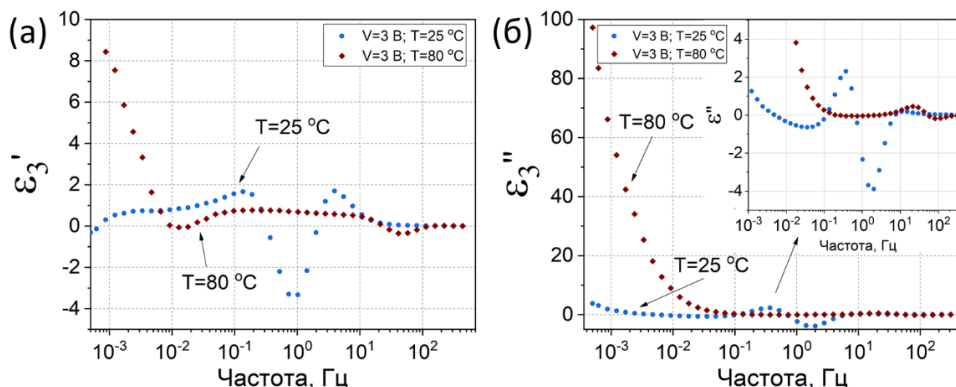


рис.2. Спектры действительной (а) и мнимой (б) части диэлектрической проницаемости 3-ей гармоники нематической фазы и изотропной фазы жидкого кристалла в планарной ячейке.

Из графиков видно, что в области низких частот, около 1 мГц, спектры комплексной диэлектрической проницаемости в изотропной фазе ЖК выше, чем в нематической фазе, что связано с повышением подвижности примесных ионов в жидком кристалле с повышением температуры.

Таким образом, нелинейные спектры комплексной диэлектрической проницаемости нематической фазы жидкого кристалла в низкочастотной области содержат только нечетные гармоники. Присутствие нечетных гармоник свидетельствует о зависимости ионных процессов от полярности приложенного электрического поля. Основным отличием спектров комплексной диэлектрической проницаемости высших гармоник изотропной фазы от нематической фазы, является присутствие в изотропной фазе четных гармоник.

Список публикаций:

- [1] Guo Q. et al. *Ferroelectric Liquid Crystals: Physics and Applications* //Crystals. – 2019. – Т. 9. – №. 9. – С. 470.
- [2] Larsen T. T. et al. *Optical devices based on liquid crystal photonic bandgap fibres* //Optics Express. – 2003. – Т. 11. – №. 20. – С. 2589-2596.
- [3] Gin D.L., Noble R. D. *Designing the next generation of chemical separation membranes* //Science. – 2011. – Т. 332. – №. 6030. – С. 674-676.
- [4] Henmi M. et al. *Self-organized liquid-crystalline nanostructured membranes for water treatment: selective permeation of ions* //Advanced Materials. – 2012. – Т. 24. – №. 17. – С. 2238-2241.
- [5] Podgornov F. V. et al. *Mechanism of electrooptic switching time enhancement in ferroelectric liquid crystal/gold nanoparticles dispersion* //Liquid Crystals. – 2018. – Т. 45. – №. 11. – С. 1594-1602.
- [6] Perkowski P. *Dielectric spectroscopy of liquid crystals. Theoretical model of ITO electrodes influence on dielectric measurements* //Opto-Electronics Review. – 2009. – Т. 17. – №. 2. – С. 180-186.

Влияние модифицирования CdNb_2O_6 на фазообразование твердых растворов $\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$

Глазунова Екатерина Викторовна
Южный федеральный университет
Вербенко Илья Александрович, д.ф.-м.н.
kate93g@mail.ru

Стремление к универсальности функциональных материалов приводит к необходимости совмещения в одной химической композиции нескольких материалов, имеющих различную, структуру и свойства.

В данной работе нами изучены процессы фазообразования в квазибинарной системе твердых растворов (ТР), в которую входят $\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$, обладающий высокими значениями диэлектрических $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0 = (2000-2300)$ и электромеханических $K_p = (0.550-0.569)$ характеристик, имеющий структуру типа перовскита[1], а также CdNb_2O_6 , обладающий очень высокими значениями диэлектрической проницаемости и кристаллизующийся в структуре пироклора [2].

Как известно, для образования ТР элементы, входящие в их состав должны удовлетворять условиям изоморфизма: разность ионных радиусов (ΔR) не должна превышать 15 % и разность электроотрицательностей

($\Delta\text{ЭО}$) должна быть не больше 0.4 по Полингу [3]. Если эти условия не выполняются, то возможна только ограниченная растворимость. Так, например, в системе $(1-x)\text{NaNbO}_3$ - $x\text{LiNbO}_3$, несмотря на большую разницу в ионных радиусах ($\Delta R(\text{Na-Li})=44\%$, $\Delta\text{ЭО}(\text{Na-Li})=0.05$) Li растворяется в NaNbO_3 до $x=0.14$. В изучаемой системе $(1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$ - $x\text{CdNb}_2\text{O}_6$ условия изоморфизма выглядят следующим образом: для A -катионов $\Delta R(\text{Pb-Cd})=27\%$, а $\Delta\text{ЭО}(\text{Pb-Cd})=0.64$, что превышает допустимый предел почти в два раза. Для B -катионов $\Delta R(\text{Ti-Nb})=3\%$, $\Delta R(\text{Zr-Nb})=24\%$, а $\Delta\text{ЭО}(\text{Ti-Nb})=0.06$, $\Delta\text{ЭО}(\text{Zr-Nb})=0.27$. Из приведенных данных видно, что основной конфликт возникает при замещении в A -позиции, что говорит о том, в данной системе также возможна только ограниченная растворимость.

Исходя из вышесказанного, целью данной работы является установление закономерностей фазообразования и выявление границы растворимости в ТР системы $(1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$ - $x\text{CdNb}_2\text{O}_6$.

Объекты, и методы получения Объектами исследования стали ТР системы $((1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$ - $x\text{CdNb}_2\text{O}_6$, где $0.025 \leq x \leq 0.10$. Все образцы получали методом твердофазных реакций при $T_{1,2}=950^\circ\text{C}$ и времени выдержки $\tau=4$ ч. Спекание проводили по обычной керамической технологии $1200^\circ\text{C} \leq T_{\text{сн.}} \leq 1220^\circ\text{C}$. В качестве исходных реагентов использовали PbO (ч), TiO_2 (осч), ZrO_2 (ч), Nb_2O_5 (ч), (ч), CdO (ч).

Рентгенографические исследования проводили методом порошковой дифракции на дифрактометре ДРОН-3 с использованием $\text{CoK}\alpha$ -излучения. Содержание примесных фаз оценивалось по относительным интенсивностям соответствующих им сильных линий, I/I_1 , где I -интенсивность линии примесной фазы, I_1 -интенсивность сильной линии соответствующего ТР.

На рисунке приведены рентгенограммы ТР системы $(1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$ - $x\text{CdNb}_2\text{O}_6$ после синтеза.

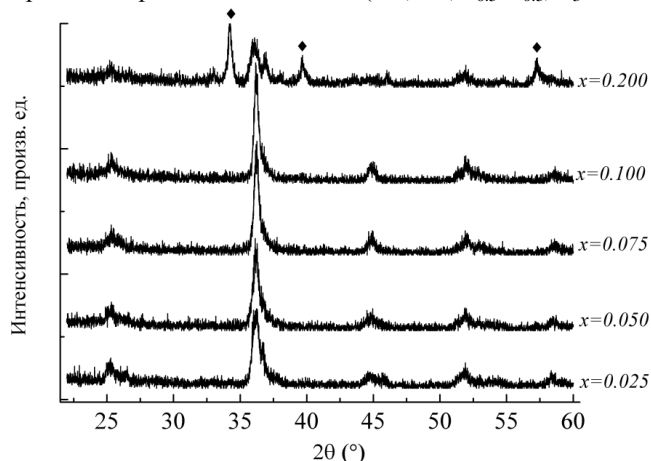


рис. Рентгенограммы ТР системы $(1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$ - $x\text{CdNb}_2\text{O}_6$ с $0.025 \leq x \leq 0.2$ после синтеза $T_1=950^\circ\text{C}$ (ромбом отмечены дифракционные отражения относящиеся к пироклорной фазе).

Из рисунка видно, что после синтеза образцы с $x \leq 0.1$ имеют структуру типа перовскита и не содержат примесных фаз. Но уже при концентрации Cd -содержащего компонента $x \geq 0.2$ однородные ТР не возникают и образуется смесь пироклорной и перовскитной фаз, что говорит о том, что действительно, при получении ТР системы $(1-x)\text{Pb}(\text{Ti}_{0.5}\text{Zr}_{0.5})\text{O}_3$ - $x\text{CdNb}_2\text{O}_6$ проявляется ограниченная растворимость до 10 мол. %.

Таким образом, в ходе работы в виде керамики были получены ТР в интервале $0.025 \leq x \leq 0.1$ с относительной плотностью 90-95%. В работе также обсуждаются структурные параметры, полученных ТР, их зависимость от концентрации компонента x , а также влияние CdNb_2O_6 на диэлектрические и пьезоэлектрические свойства исследуемых объектов.

На базе полученных данных делается заключение о возможности использования рассматриваемых ТР как основы для создания пьезоэлектрических устройств.

Работа выполняется в рамках гранта РФФИ № 19-32-90099\19 в лаборатории интеллектуальных материалов, плазменных технологий и инновационных multifunctional систем НИИ физики, при использовании оборудования Центра коллективного пользования «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел» НИИ физики Южного федерального университета.

Список публикаций:

- [1] Hongyan Qi, Xin Xia, Changlin Zhou, Pengcheng Xiao, Yun Wang, Yongju Deng. *Ferroelectric properties of the flexible $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ thin film on mica* // *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 2020. V. 31. № 4. PP. 3042–3047.
- [2] Yu-Jen Hsiao, Te-Hua Fang, Liang-Wen Ji and Sung-Shui Chi. *Surface and Photoluminescence Characteristics of CdNb_2O_6 Nanocrystals* // *The Open Surface Science Journal*. 2009. № 1. P.30-33.
- [3] Урусов В. С., *Теоретическая кристаллохимия*. – М.: Изд-во МГУ, 1987. 275 с.